

УДК 626.86

МЕТОДИКА ФИЛЬТРАЦИОННОГО РАСЧЕТА СООРУЖЕНИЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ТЕРРИТОРИЙ

Канд. техн. наук, доц. КРУГЛОВ Г. Г., асп. ДЖАЙСВАЛ Мохан Прасад

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время ведутся работы по проектированию и строительству каскадов гидроэлектростанций на реках Западная Двина и Неман. В стадии изучения находится вопрос о создании судоходного пути из Балтийского моря в Черное, проходящего по рекам Западная Двина и Днепр и судоходному каналу между ними. Для решения всех этих задач потребуются строительство подпорных гидроузлов, что вызовет значительный подъем уровней воды в реках, а следовательно, затопление и подтопление прилегающих территорий.

В связи с тем, что в зонах ранее построенных белорусских водохранилищ подтоплены 20...25 тыс. га, около 124 тыс. га плодородных земель Полесья находятся в зоне затопления и подтопления паводковыми водами Припяти и ее притоков [1, 2] и 256,7 тыс. га полностью исключены из сельскохозяйственного оборота из-за аварии на Чернобыльской АЭС [3], осо-

бую актуальность приобретают вопросы инженерной защиты от затопления и подтопления территорий, расположенных в районах водохранилищ, подпертых бьефов плотин и ограждающих дамб.

Анализ построенных и проектируемых белорусских водохранилищ показал, что защищаемые территории вытянуты вдоль береговой линии и, следовательно, основным средством инженерной защиты территории от затопления и подтопления, наиболее часто применяемым в Беларуси, является устройство ограждающих дамб и придамбового дренажа, понижающего уровень грунтовых вод на защищаемой территории до необходимых отметок, определяемых целевым использованием этих земель. Типовая схема защитных сооружений на примере водохранилища «Петровичи» на р. Волме приведена на рис. 1.

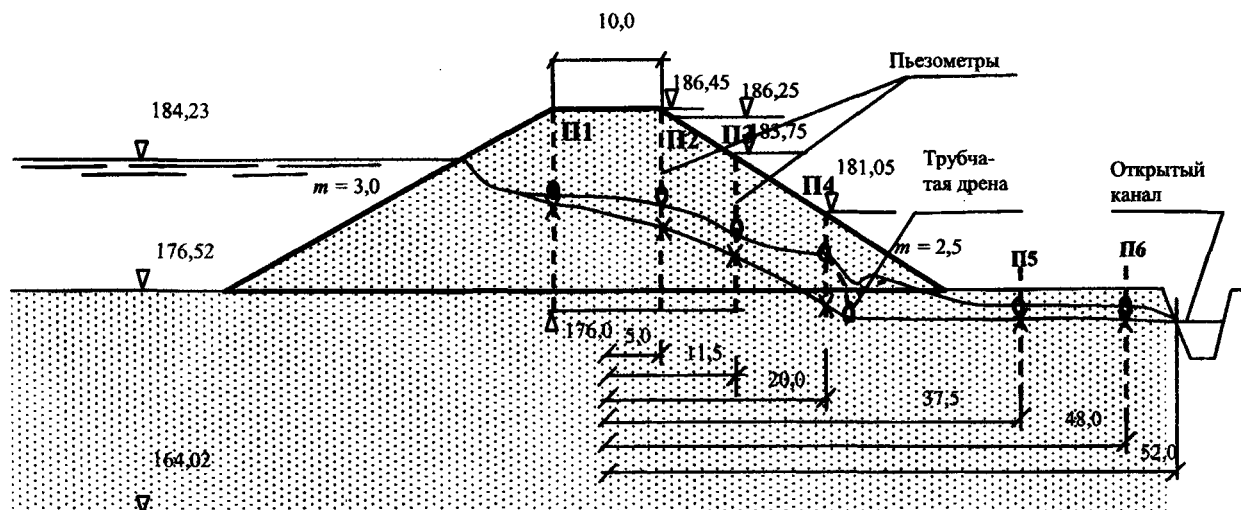


Рис. 1. Защитные сооружения водохранилища «Петровичи» (пьезометрический створ № 3):
о — опытная; × — расчетная кривые депрессии

Выполненные обследования ряда водохранилищ с такой конструкцией инженерной защиты территории («Любаньское», «Красная Слобода», «Левки», «Искра-Гудевичи», «Жидче», «Бобрик», «Дубровское», «Петровичи», «Заславское» и др.) показали, что защитные сооружения достаточно часто не справляются со своей задачей, дренажи работают неудовлетворительно, не обеспечивают необходимого понижения уровня грунтовых вод на защищаемой территории [4...6]. Это приводит к подтоплению и заболачиванию территорий, в то время как согласно выполненным при проектировании фильтрационным расчетам уровни грунтовых вод на защищаемых территориях должны находиться достаточно глубоко, не вызывая подтопления земель. Существующие методы фильтрационных расчетов дренажей для условий плоской задачи подразделяются на теоретические и экспериментальные. Теоретические методы в свою очередь подразделяются на точные и приближенные. К точным теоретическим относятся методы конформных отображений, функции комплексной скорости и др., а к приближенным теоретическим – конечно-разностные, фрагментов, фильтрационных сопротивлений и т. д.

Метод А. В. Романова разработан для схемы инженерной защиты территории, полностью соответствующей представленной на рис. 1. Для решения задачи область фильтрации делится на два фрагмента (рис. 2) по линии, где глубина грунтовых вод равна глубине воды в дрене $H'_1 = t$.

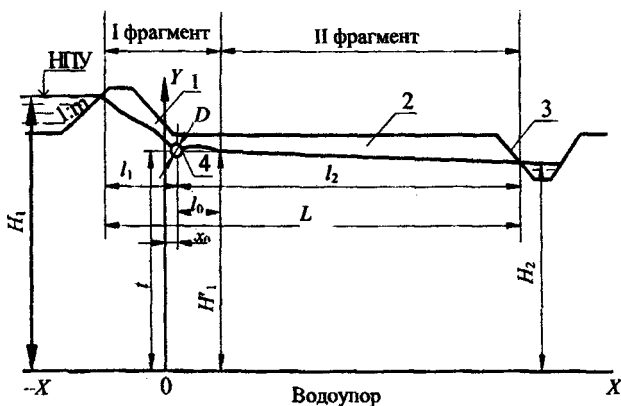


Рис. 2. Схема к методу расчета А. В. Романова: 1 – оградящая дамба; 2 – защищаемая территория; 3 – придамбовый канал; 4 – трубчатый дренаж

Как в первом фрагменте, ограниченном контуром питания H_1 и контуром стока H'_1 , так и во втором фрагменте, ограниченном контуром питания H'_1 и контуром стока H_2 , все параметры известны, за исключением положения границы между фрагментами (l_0 – расстояния от дренажа до линии границы фрагментов). Неизвестная величина l_0 находится из условия, что величина фильтрационного расхода, поступающего в первом фрагменте к контуру стока H'_1 , равна величине расхода во втором фрагменте. Записывая зависимости для значения фильтрационного расхода в пределах каждого фрагмента и приравнивая их между собой, находится уравнение, путем подбора которого можно определить величину l_0 :

$$\frac{H_1 - H'_1}{l_1 + l_0} \left\{ t - \frac{\pi l_1 l_0}{\left[\ln \frac{2t}{\pi D} + \frac{\pi l_1 l_0}{(l_1 + l_0)t} \right] (l_1 + l_0)} \right\} = \frac{(H'_1)^2 - H_2^2}{2(L - l_1 - l_0)}. \quad (1)$$

Удельный фильтрационный расход, поступающий в трубчатый дренаж, определяется по зависимости

$$q = \frac{k(H_1 - t)^2}{2l_1} + \frac{\pi k(H_1 - H'_1)l_0}{\left[\ln \frac{2t}{\pi D} + \frac{\pi l_1 l_0}{(l_1 + l_0)t} \right] (l_1 + l_0)}, \quad (2)$$

где k – коэффициент фильтрации грунта; D – диаметр дрены.

Система координат для построения кривых депрессий выбирается следующим образом: ось X совпадает с поверхностью водоупора, ось Y располагается по середине первого фрагмента.

Ординаты кривой депрессии в пределах первого фрагмента на расстоянии больше $2t$ от оси дрены определяются по зависимостям:

• в сторону водохранилища (контура питания)

$$H_x = \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{l_1 + l_0} \right) (H_1 - H'_1) + H'_1 - \frac{q}{k l_0} \left(x - x_0 + \frac{l_1}{2} - \frac{l_1 x}{l_1 + l_0} \right); \quad (3)$$

• в сторону придамбового канала (контура стока)

$$H_x = \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{l_1 + l_0} \right) (H_1 - H'_1) + H'_1 - \frac{q l_1}{k t_0} \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{l_1 + l_0} \right), \quad (4)$$

где $t_0 = t + \frac{H_1 - t}{2}$; $x_0 = l_1 - \frac{l_1 + l_0}{2}$ – расстояние от оси ординат до оси дрены.

Ординаты кривой депрессии в пределах первого фрагмента на расстоянии меньше $2t$ от оси дрены определяются по зависимости

$$H_x = \frac{q}{\pi k} \ln \left| A + \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{l_1 + l_0} \right) (H_1 - H'_1) + H'_1 - \frac{q l_1}{k t_0} \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{l_1 + l_0} \right) \right|, \quad (5)$$

где $\ln |A| = \ln \left| 1 - e^{-\frac{\pi(x-x_0)}{t_0}} \right|$ находится по графику [7].

Ординаты кривой депрессии в пределах второго фрагмента вычисляются по уравнению

$$H_x = \sqrt{H_2^2 + \left[(H'_1)^2 - H_2^2 \right] \frac{x}{L - l_1 - l_0}}, \quad (6)$$

а удельный фильтрационный расход, поступающий в придамбовый канал, определяется по формуле Дюпюи

$$q_k = k \frac{(H'_1)^2 - H_2^2}{2(L - l_1 - l_0)}. \quad (7)$$

Как видно, метод А. В. Романова громоздок, его практическое использование затруднено, а результаты расчета дают погрешности, вызывающие подтопление защищаемых территорий.

Экспериментальная проверка метода была проведена путем сопоставления опытных значений дебита дрены, фильтрационного расхода, поступающего в придамбовый канал, и ординат кривых депрессий, полученных на лабораторной установке, с их вычисленными значениями. Кроме того, было выполнено сравнение ординат кривых депрессий, измеренных на пьезометрических створах, установленных в теле земляной плотины водохранилища «Петровичи» (рис. 1), с вычисленными по методу А. В. Романова значениями.

Анализ результатов сопоставления показывает, что вычисленные по методу А. В. Романова фильтрационные расходы, поступающие в дрена, достаточно хорошо согласуются с опытными значениями (рис. 3).

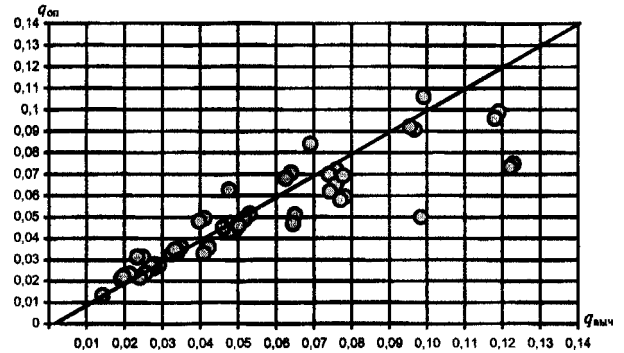


Рис. 3. Сравнение опытных и вычисленных значений фильтрационного расхода дрены

Максимальные расхождения опытных и вычисленных данных (более 60 %) приходятся на долю опытов, в которых над дренай образуется написание грунтовых вод, не учитываемое этим методом. Расхождение между вычисленными и опытными значениями фильтрационного расхода, проходящего мимо дрены и поступающего в канал, который и формирует режим уровней грунтовых вод на защищаемой территории, имелось во всех опытах и составляло 20...40 %. При этом опытные значения расходов всегда были больше вычисленных (рис. 4).

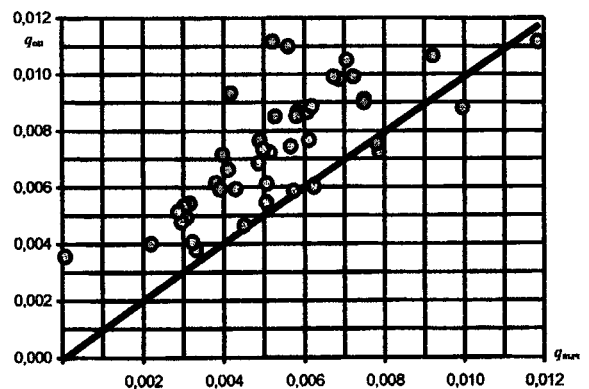


Рис. 4. Сравнение опытных и вычисленных значений фильтрационного расхода, поступающего в канал

При выполнении фильтрационных расчетов и проектировании сооружений, защищающих территории от подтопления, наиболее важным является достоверное определение положения

уровня грунтовых вод на этой территории. Для того чтобы сопоставление результатов, полученных в натурных условиях, на лабораторной установке и вычисленных по существующему методу, было наиболее наглядным, ординаты кривых депрессий определялись относительно оси придамбовой дрены. Анализ полученных результатов показал, что относительная погрешность вычисленных значений изменялась от 38 до 100 % и в большинстве случаев составляла 60...70 %.

Таким образом, экспериментальная проверка показала, что наиболее достоверные данные метод А. В. Романова дает при определении фильтрационного расхода, поступающего в дренаж, и при построении кривых депрессий в теле ограждающей дамбы на участке от водохранилища до дренажа. Достоверность же определения фильтрационного расхода, проходящего мимо дрены в сторону защищаемой территории, и положения уровня грунтовых вод на защищаемой территории невелика.

В связи с этим в результате обработки опытных данных была получена эмпирическая зависимость для определения максимальной ординаты кривой депрессии на защищаемой территории

$$\frac{h_{\max}}{D} = 0,86\sqrt{q_r} - 1,32, \quad (8)$$

где q_r – приведенный фильтрационный расход (расход на 1 п. м. при $k = 1$), поступающий в дренаж диаметром D .

Также была разработана следующая методика фильтрационного расчета сооружений инженерной защиты территорий:

1. По методу А. В. Романова определяется удельный расход придамбовой дрены и строится кривая депрессии в теле ограждающей дамбы. Приведенный фильтрационный расход дрены находится по формуле $q_r = \frac{q}{k}$.

2. По зависимости (8) определяется максимальная ордината кривой депрессии на защищаемой территории на расстоянии (0,3...0,5) l от оси дрены.

3. По формуле Дюпюи строится кривая депрессии на защищаемой территории от сечения с максимальной ординатой до придамбового канала.

ВЫВОД

Предлагаемая методика достаточно просто позволяет установить уровенный режим грунтовых вод на защищаемой территории, а кривые депрессии, построенные по этой методике, хорошо согласуются с данными лабораторных и натурных измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юревич Р. А., Кулешов А. П. Современное состояние и использование водохранилищ Беларуси // Водные ресурсы. – 1992. – № 4. – С. 174–176.
2. Маланкина Ю. Техничко-экономические показатели полейдерных систем в Белорусском Полесье // Машинное осушение затопляемых пойменных земель. Вып. 1. – Елгава, 1976. – С. 11–18.
3. Нестеренко В. Б. Масштабы и последствия катастрофы на Чернобыльской АЭС для Беларуси, Украины и России. – Мн.: Право и экономика, 1996. – 72 с.
4. Галковский В. Ф., Рудковская И. М. Определение зоны влияния водохранилищ на прилегающие земли // Мелиорация и водное хозяйство. – 1993. – № 3. – С. 10–14.
5. Круглов Г. Г. Исследования уровня грунтовых вод над дренажем оградительной дамбы Заславского водохранилища // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. – Вып. 13. – Мн.: Вышэйш. шк., 1984. – С. 101–105.
6. Мишурова Г. В., Кудряшов В. В. Режим уровней грунтовых вод водохранилища «Красная Слобода» // Мелиорация переувлажненных земель. – Вып. 30. – Мн.: Ураджай, 1982. – С. 125–131.
7. Защита территорий от затопления и подтопления / С. К. Абрамов и др. – М.: Госстройиздат, 1961. – 424 с.